

環境モニタリングデータ、拡散モデルの活用可能性 — 短寿命核種による初期被ばく線量の再構築を中心に —

森口 祐一

東京大学大学院・工学系研究科・都市工学専攻

資料作成協力

大原利真(国立環境研究所)・鶴田治雄(東京大学大気海洋研究所)
福島第一原子力発電所事故由来放射性物質調査研究 分野横断ワークショップ参加者

1

話題提供の背景

第7回専門家会議資料1-2

資料1-1「住民の被ばく線量把握・評価について(まとめ)(骨子案)」の新旧対照表

旧(第6回会議資料 H26.5.20)	新(第7回会議資料 H26.6.26)
<p>□ 被ばく線量把握・評価に当たっては、被ばく線量の実効線量等の実測のデータを”Best Dose Data”とし、環境モニタリング等のデータを”Next Best Data”、大気拡散シミュレーション等に基づくデータを”Helpful Data”として位置付けたうえで、検討を行った。主要なデータや情報については、それらの信頼性や妥当性についても検討を行った。</p>	<p>□ 被ばく線量把握・評価に当たっては、個人線量計による測定や小児甲状腺簡易測定調査(後述)に代表される被ばく線量の推定に利用可能な実測の線量データについて、最も重視すべきデータとして重点的に信頼性・精度(測定値のランダムなばらつき)や妥当性・正確度(真の値からの偏差)の評価を行った上で、空間線量率、空气中・土壌中放射性物質濃度等の環境モニタリングデータ、大気拡散沈着シミュレーション等のモデルに基づく理論による計算データについても同様に検討を行った。</p> <p>□ 事故初期のヨウ素等短半減期核種による被ばくは実測値が限られており、環境モニタリングデータやモデルに基づく計算データによる被ばく推計を補助的に利用した。</p>

2

話題提供の内容

1. はじめに:自己紹介とともに
2. 環境モニタリングデータ、大気拡散・沈着モデルを用いた初期被ばく線量再構築の可能性
3. 事故由来放射性物質調査研究分野横断ワークショップで整理された主要な知見
4. 放射性物質の環境動態の総合的理解の必要性

3

略歴・事故影響に関する主な公職、活動

- 専門:環境システム工学 出身:衛生工学 学位論文のテーマ:大気拡散モデル
- 前職:国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長(~2011.3.31)
- 中央環境審議会臨時委員
- 環境省環境回復検討会委員
- 厚生労働省水道水における放射性物質対策検討会委員
- 国土交通省下水道における放射性物質対策に関する検討会委員
- JST先端計測分析技術・機器開発推進委員会放射線計測分科会委員
- 原子力規制委員会帰還に向けた安全・安心対策に関する検討チーム外部専門家

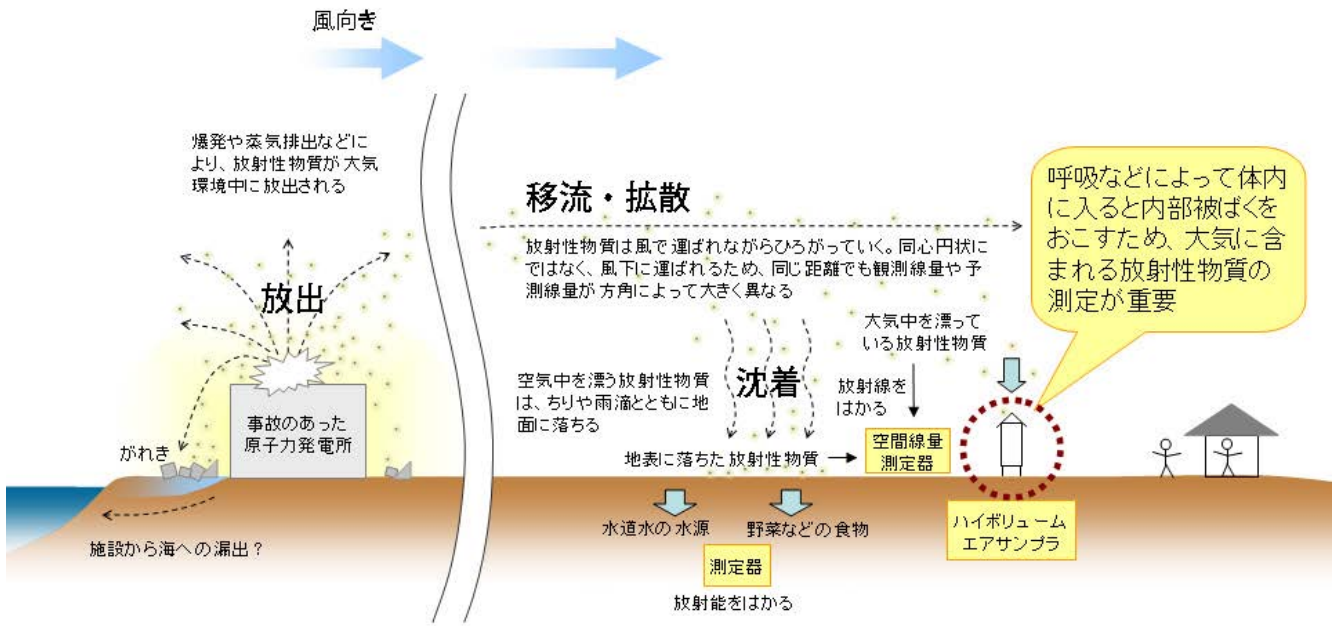
- 日本学術会議東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会委員
- 日本医師会総合研究機構、日本学術会議共催行事(2014.2.22)
「福島原発災害後の国民の健康支援のあり方について」講演者

- 科研費新学術領域研究「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究(代表:筑波大学恩田裕一教授)アドバイザー
- 福島第一原子力発電所事故由来放射性物質調査研究分野横断ワークショップ(2014.3.15~16)世話人代表
- 大気環境学会放射性物質動態分科会幹事

4

環境中へ放出された放射性物質のゆくえ

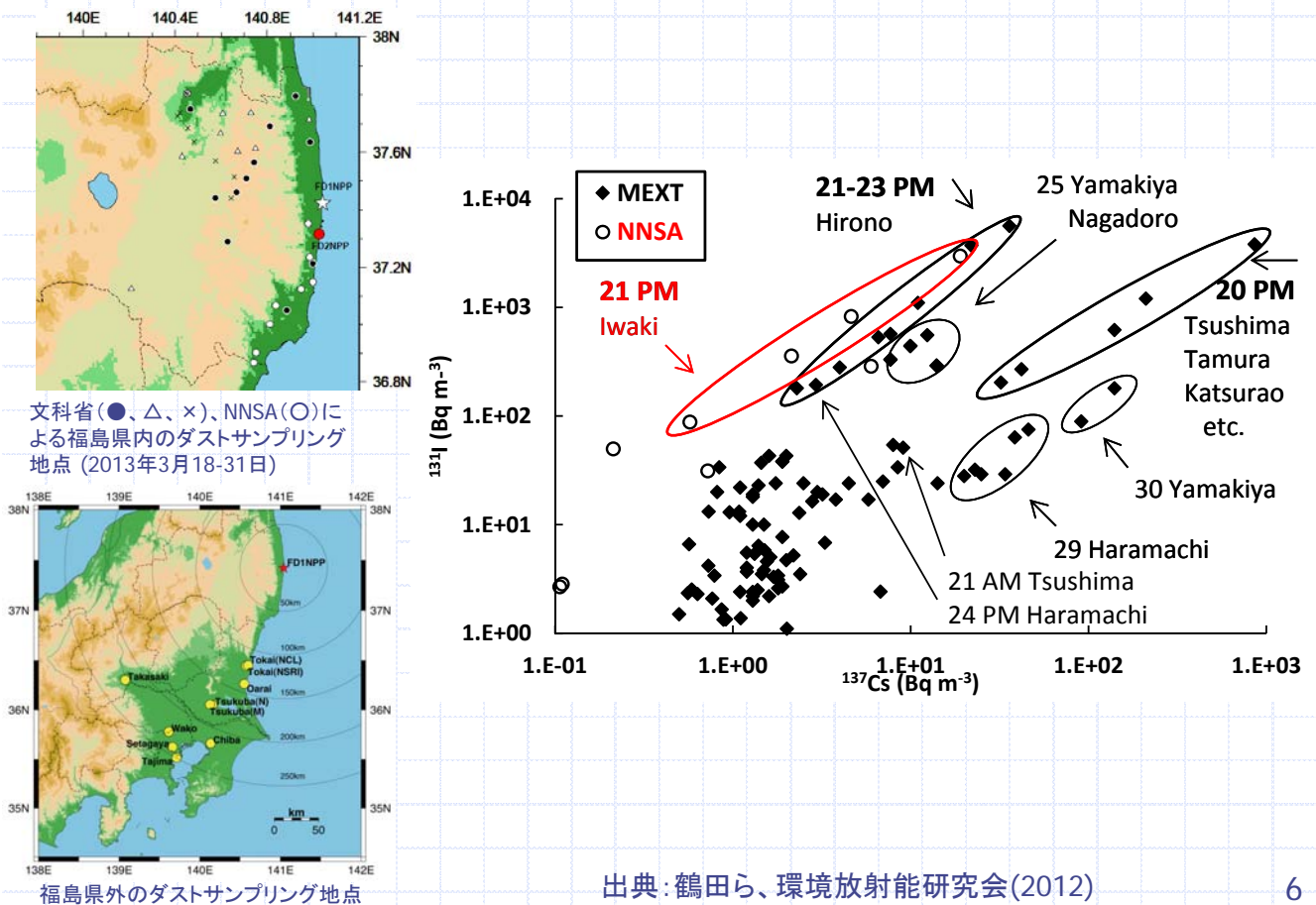
(話題提供者の作成した図をもとに国立環境研究所在任最終日(2011/3/31)に国環研HPに掲示)



出典: 国立環境研究所ホームページ

関連リンク: 高エネルギー加速器研究機構ホームページ

日米の機関によるダストサンプリングにおけるI-131/Cs137比



事故直後の大気中放射性物質濃度の新たな実測データ

UNSCEAR2013年報告書より抜粋 パラグラフ70

「評価の目的に照らして放射性核種の大気中濃度を測定したデータが少な過ぎたため、本委員会は
その濃度を推定しなければならなかった。(中略) しかしながら、放出された放射性核種の量と、それ
らが時間と場所に応じてどのように変動したかについての知識が不完全であることに加え、放出され
た物質がその後大気中でどのように拡散するかをシミュレーションするモデルに不確かさがあつたこ
とにより、個々の時間と場所に対するこれらの推定値には大きな不確かさが含まれている。これらの
不確かさを考慮して、本委員会は地表沈着密度の測定値を用いてATDM解析から得られた大気中濃
度の推定値を調整する方法を選んだ。

2013年8月29日付読売新聞夕刊1面
「福島第一事故 放射性雲の拡散を再調査
規制委 大気測定器データ活用」



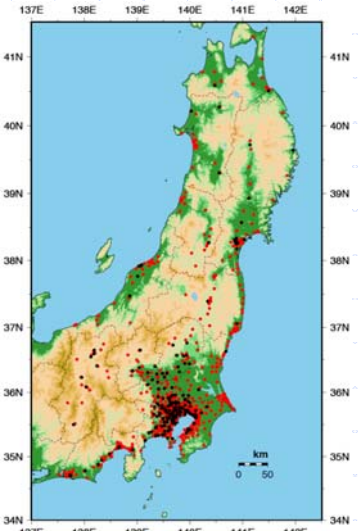
SPM測定装置の例(画像提供:堀場製作所)



大気汚染常時監視システムによるSPM
(浮遊粒子状物質)の測定に用いられた
る紙上の放射性物質を測定

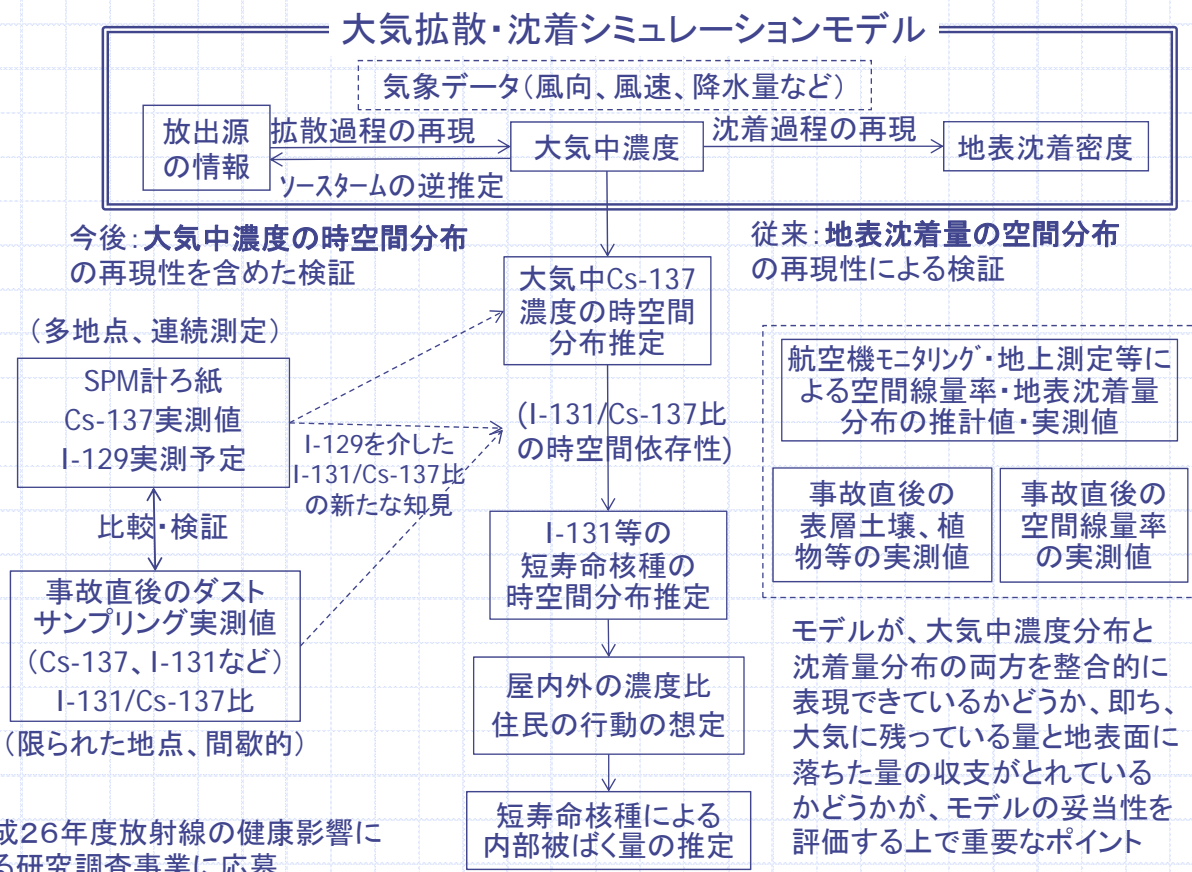


回収されたる紙



測定局分布

被ばく線量推計と環境モニタリングデータ・拡散モデルとの関係



福島第一原子力発電所事故由来放射性物質調査研究 分野横断ワークショップ

概要: 事故から3年が経過し、放射性物質の環境中での動態や影響の評価、廃棄物処理や除染といった対応策などに関する調査研究が多岐にわたって進められ、成果も蓄積されてきた。しかし、これらは、大学や国立研究機関など数多くの機関の専門家によって担われ、関連する学術分野は多岐にわたり、関連する学会も数多く、事故由来の放射性物質に関して、どこでどのような調査研究が行われてきたのかの全貌を把握することは容易ではない。そうした問題意識を共有する有志が発案して企画を練り、さまざまな分野の専門家が2日間のワークショップに集まり、機関や学会の壁にとらわれることなく、情報の共有と整理を集中的に行い、これまでに得られた主な知見や現在進行中の主な調査研究について、「棚卸し」を試みた。

[第1グループ] 「放出、拡散、線量評価、測定手法」

[第2グループ] 「地表沈着後の実態・動態」

[第3グループ] 「人工システム内での移行と制御、環境回復」

[第4グループ] 「専門的・科学的知見と社会との対話」

第1グループ参加者(16名)の主な関連学会、関係機関

関連学会: 日本原子力学会、日本保健物理学会、日本放射線安全管理学会、大気環境学会、日本気象学会、日本地球惑星科学連合

関係機関: 気象研究所、放射線医学総合研究所、産業技術総合研究所、国立環境研究所、日本原子力研究開発機構

<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/hydrogeo/alltsukuba/pastseminar/20140316ws.html> 9

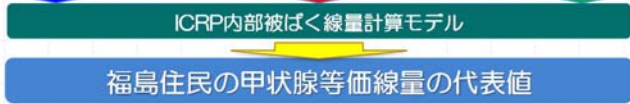
分野横断WS グループ1(放出、拡散、線量評価、測定手法) 重要課題リスト

1. 放出総量(大気、海)
2. 大気放出(+海洋漏出)経由の放射性核種他媒体への移行
3. 放出量の時間変化、到来時期、到来地域による核種構成、形態の違いと炉内事象の関係
4. 初期被ばくの線量再構築とくに3/14以前および3/20以降のプルーム
5. 初期被ばくにおけるI-131/Cs-137比、I-131の存在形態、I-131以外の短寿命核種、吸入以外の摂取経路(経口など)の可能性
6. 大気中における放射性核種の物理化学的性状
7. 事故後3年間の大気中濃度変化、再飛散、モニタリング
8. 大気モデリングの課題、相互比較、検証
9. 放射線防護に用いられる線量概念と放射線計測手法との関係
10. 内部被ばくと外部被ばくのモニタリング(WBC, 甲状腺スクリーニング、個人線量の実測と推計モデル)と将来予測
11. 放射線・放射能測定データの収集、発掘、保全、蓄積、利用環境整備

<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/hydrogeo/alltsukuba/pastseminar/20140316ws.html> 10

4. 初期(内部)被ばくの線量再構築, 特に3/14以前および3/20以降のプルーム

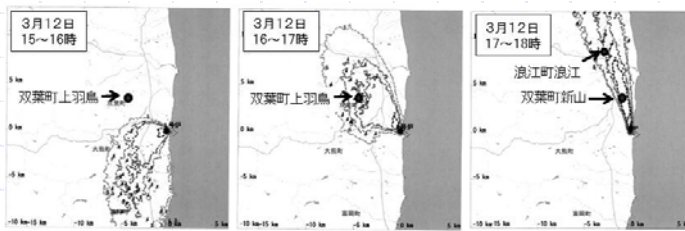
初期内部被ばく線量の再構築の方法



初期内部被ばく線量の推計結果



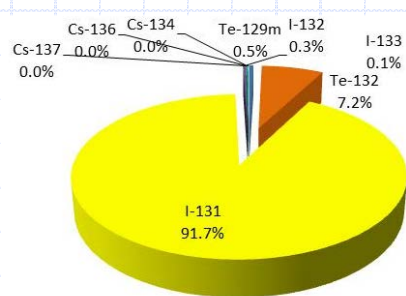
3月12日の放射性プルーム予測



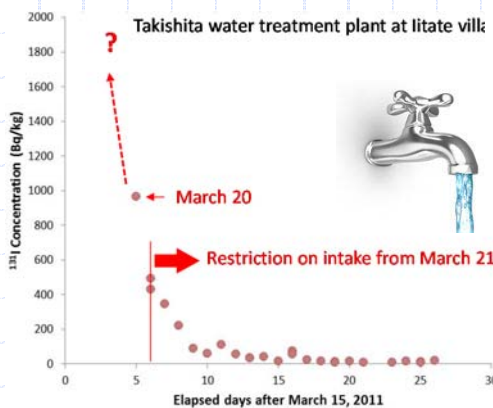
推計精度の更なる精度向上
が必要!!

- O. Kurihara, K. Akahane, N. Sugiura, Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident, Springer (ed. S. Takahashi), ISBN 978-4-431-54582-8
- 栗原ら, 東京電力福島第一原子力発電所事故における福島県住民の初期内部被ばく線量推計, KEK Proceedings of the 14th Workshop on Environmental Radioactivity (2013).
- 栗原治, 日本原子力学会誌アトモス, 被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション 東京電力福島第一原子力発電所事故における周辺住民の初期内部被ばく線量再構築 (2013).

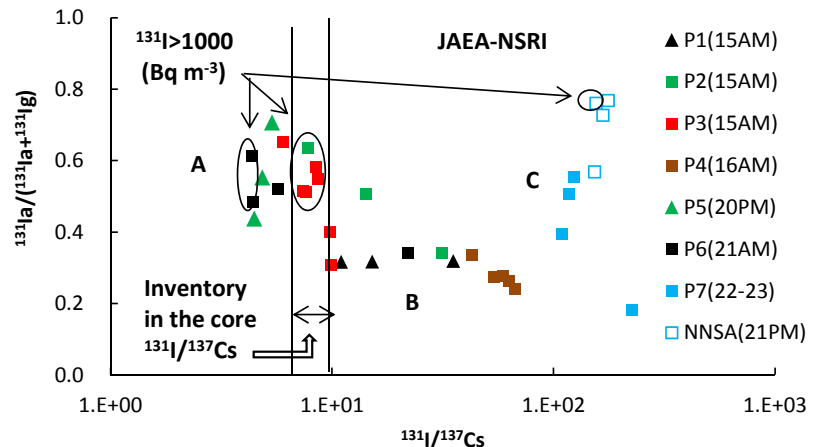
5. 初期被ばくにおける¹³¹I/¹³⁷Cs比, ¹³¹Iの存在形態, ¹³¹I以外の短寿命核種, 吸入以外の摂取経路 (経口など)の可能性



茨城県東海村でのプルーム中に含まれた核種に基づく甲状腺線量寄与比



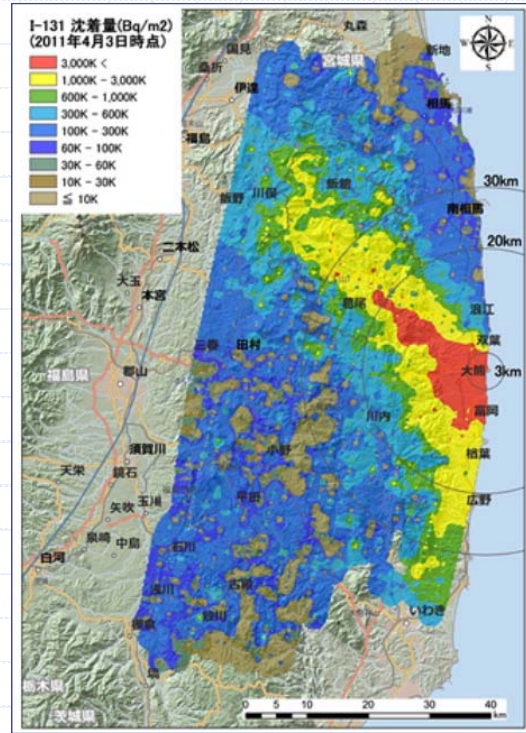
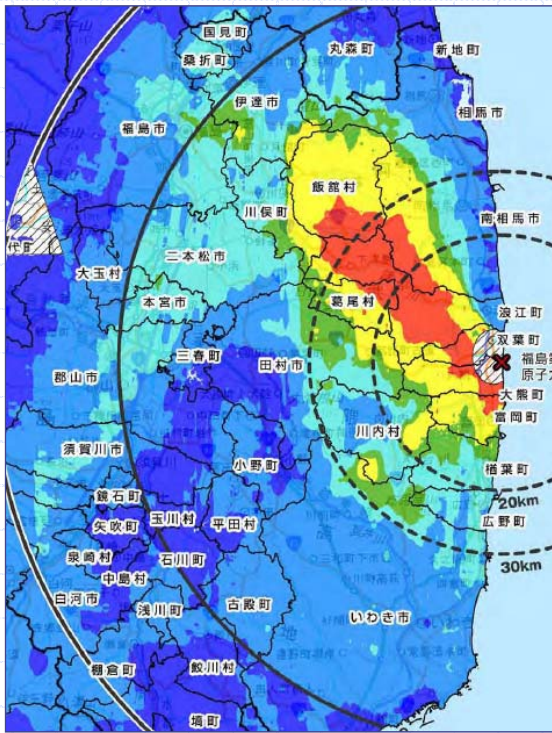
飯館村滝下浄水場におけるモニタリング結果



茨城県東海村でのプルーム中のヨウ素/セシウム (¹³¹I/¹³⁷Cs) 比とヨウ素の物理化学的性状(ガス状:¹³¹Ig, 粒子状:¹³¹Ia) (鶴田ら, 2013)

- ¹³¹I/¹³⁷Cs比, ¹³¹I物理化学的性状⇒時間空間的に変化
- ¹³¹I以外の短寿命核種⇒実測データ少ない
- 経口摂取の可能性⇒聞き取り調査, 飲食物の濃度プロフィールの構築

航空機モニタリングによる $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$, ^{131}I の沈着量分布推計



出典: 文部科学省及び米国エネルギー省による航空機モニタリングの測定結果(その2) [平成23年6月16日]
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/4000/3709/view.html>

出典: 平成25年6月27日付日本原子力研究開発機構プレスリリース: 新たに開発した航空機モニタリング解析手法を用いて福島第一原子力発電所事故により放出されたヨウ素131の地表面沈着量を導出—米国エネルギー省が事故後初期に測定した結果を日米共同研究により解析—
<http://www.jaea.go.jp/02/press2013/p13062701/02.html>

8 大気モデリングの課題・相互比較・検証

これまでのコンセンサス

モデル相互比較(JAEAワークショップ、学会会議等)や実測データによる検証によって、

- ・陸域への影響が大きかった時の大気輸送・沈着状況がわかった
- ・ Cs-137 沈着量分布は比較的良く再現できるようになってきた
- ・モデル間の違いが生じる主因はモデル構造、沈着モデル、気象場
- ・個々の地点・時刻における大気濃度の不確実性は大きい

主要な課題

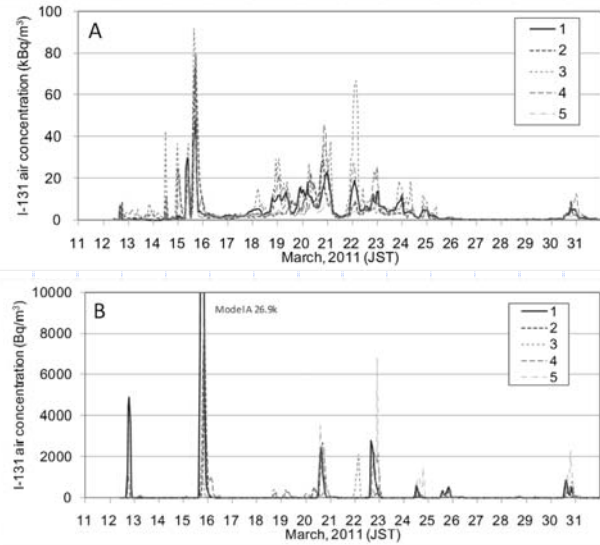
各論

モデル解析	✓ 大気濃度の変動要因の解析・評価
モデルの検証・改良	✓ 放出量や湿性沈着モデル等における不確実性評価、改良 ✓ 新たに発掘された観測データによる総合的検証(空間線量、大気濃度、大気沈着量などにおける整合性)
放出量の逆推計	✓ 既存データ(空間線量、大気濃度、沈着量)や新たに発掘された観測データによる逆推計(マルチスケールの視点)
再飛散	✓ フラックス測定、室内実験等によるメカニズムの解明 ✓ 再飛散モデルの組み込み、陸域モデルとのリンケージ

大気拡散・沈着シミュレーションモデルの不確実性

5種類のモデルによるI-131濃度の比較結果

実測された沈着量との比較

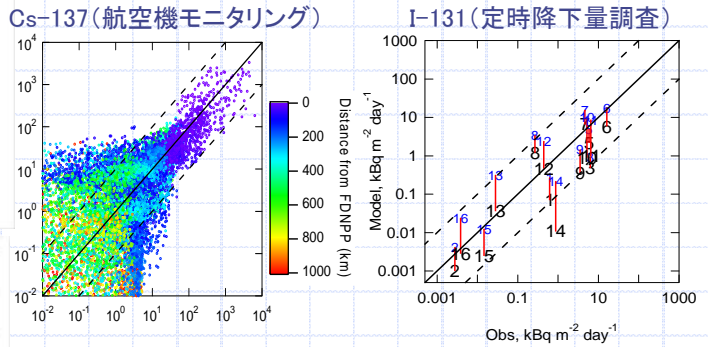


A: 放出点(福島第一原発) B:Aの北西地点

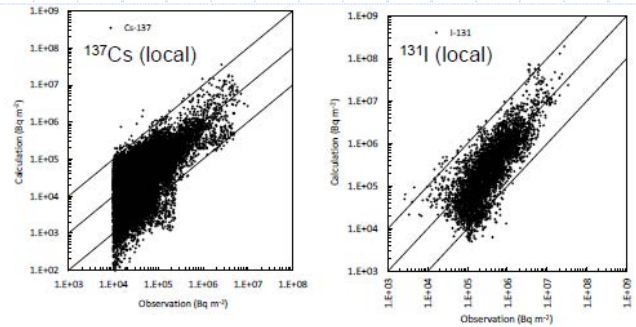
(資料)「事故初期のヨウ素等短半減期核種による内部被ばく線量評価調査」報告書の付録「専門委員会/検討委員会の会合記録」
http://clearinghouse.main.jp/web/env_0018.pdf

(1) NIESによる比較結果

(Morino et al., GRL, 2011; EST, 2013)



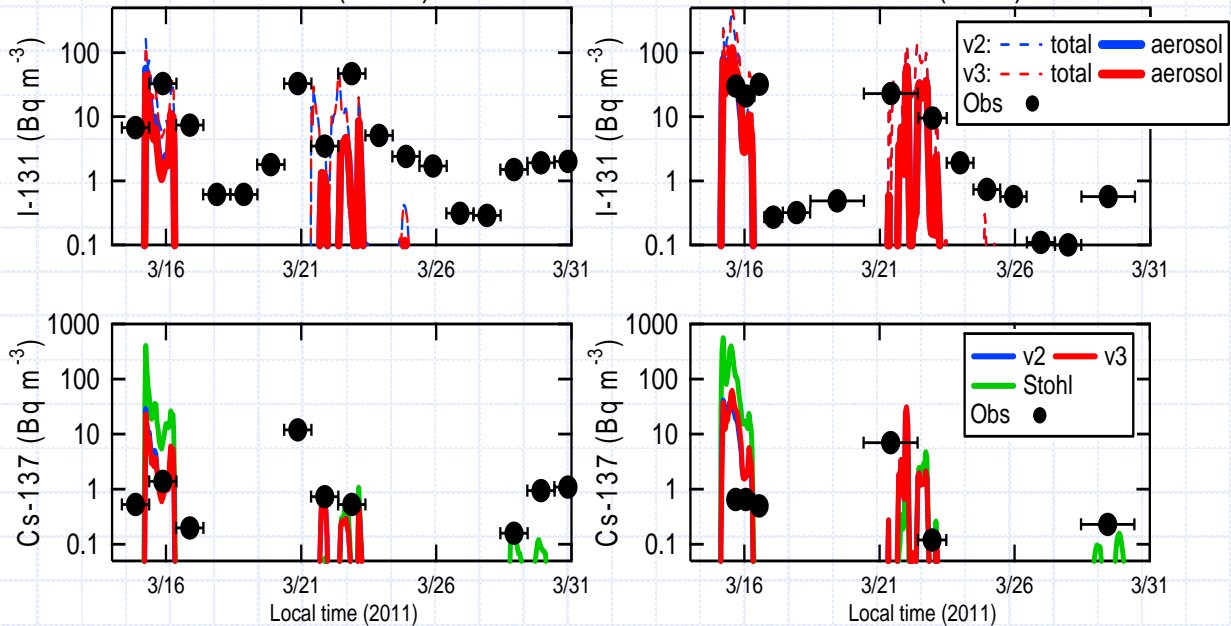
(2) JAEAによる航空機モニタリングとの比較結果
 (Katata et al., ACPD, 2014)



地上濃度の比較(筑波と千葉)

Chiba (JCAC)

Tsukuba (NIES)

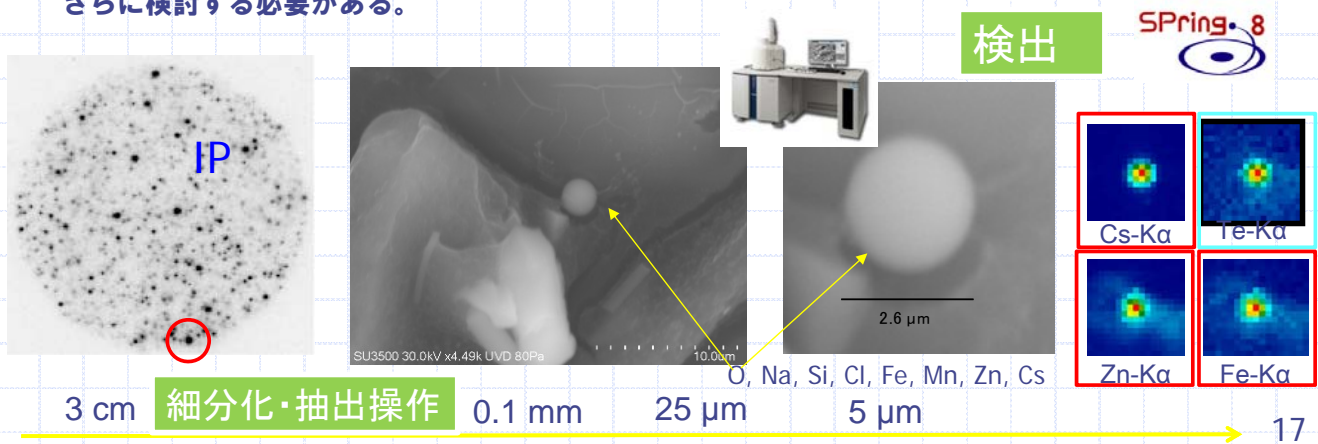


実測値: 筑波: 高エネルギー加速器研究機構と国立環境研究所との共同研究
<http://www.kek.jp/quake/radmonitor/>
 千葉: 日本分析センターの測定結果
http://www.jcac.or.jp/lib/senryo_lib/taiki_kouka_back.pdf

(出典) 大原・森野、2012年度気象学会春季大会シンポジウム 発表資料(2012)

6 大気中における放射性核種の物理化学的性状 球状セシウム粒子の例

- 放射性核種の物理化学形状は、輸送、沈着、生体影響、環境影響を決定する因子として重要。
- 2011年3月14,15日のHVフィルターのIP黒点から、球状のCsを含む粒子（仮称：Csボール）を発見。
 - PM2.5に相当する粒径
 - Fe, Zn, Mn, OやFP起源と思われる元素、数wt%の放射性Csを含む。
 - 一個の放射能は数Bq、サブTBq/gの高い比放射能をもつ。
 - 不溶性で、熱濃硝酸による抽出でも溶けない（熱濃硝酸抽出後のフィルター残渣からもCsボールを発見）。非晶質酸化物と考えられる。
- 3月20,21日の試料では見いだされず。
- 水抽出実験の結果、最初の放射能雲輸送時、HVフィルターに捕集されたCsは大部分が不溶性。したがって、初期に環境中へ放出されたCsの主要な形態はCsボールと推定される。
- エアロゾル輸送モデルに組み入れると、輸送・沈着のパターンが大きく変わる。
- 環境中や生体中で長期にわたり変化しないと推定。
- 事故事象の推移、除染に関し重要な示唆を与えるとともに、その環境および生体影響が不明なため、さらに検討する必要がある。



11 放射線・放射能測定データの収集、発掘、保全、蓄積、利用環境整備

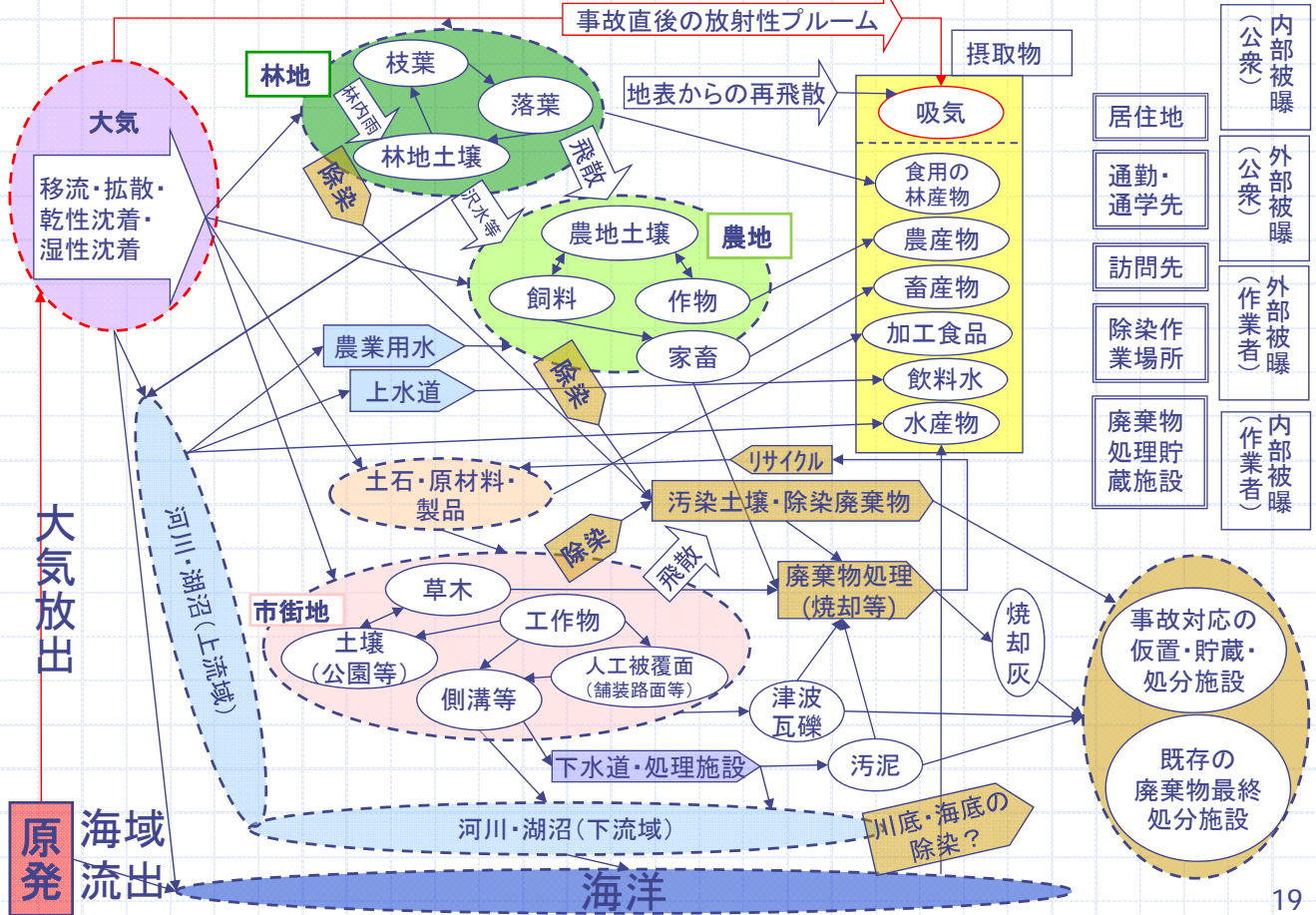
- これまで、国や自治体等が実施した測定データはデータベースとしてとりまとめられており（例えば<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/>）、放射性物質の動態評価や被ばく線量評価は、主としてこれらのデータを用いて実施されている
- 様々な個人や団体が測定したデータや未公開データの中には、動態評価や線量評価に有用なデータが存在している可能性がある（収集、発掘）
（例えば2013年8月29日付読売新聞報道（原子力規制庁による調査））
- 今回の事故において、様々な機関や個人が、それぞれの目的を持ってデータを測定したという事実を消失させずに記録として留め、後世に残す（保全、蓄積）
- 国や自治体等以外に、どこにどのような情報（データ、論文等）があるかを検索することが現状では困難（利用環境整備）

日本学術会議総合工学委員会 原子力事故対応分科会 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会「東京電力福島第一原子力発電所事故に関連する放射線・放射能測定データアーカイブズWG」において検討を進めている

主な検討課題

- 情報収集管理方法の整備（情報に関するメタデータの収集管理、検索機能整備）
- 情報の取扱い（公開・非公開、個人情報管理、著作権、風評被害）
- 情報管理主体（永続的な管理が必要）
- データの精度、品質（付帯情報も含めて残すことが必要）

環境への放出から被ばくに至るさまざまな経路 (森口, 2012)



19

環境動態の総合的な解析の必要性

- 初期被ばくの再現(環境媒体中濃度→摂取量の推定)
- 中長期にわたる外部被ばくの推計
- 食品経由の内部被ばく防止のための経路の解明、移行防止
- より効果的な除染計画の基礎
- 水を介した放射性物質の移動の解明と対策
(森林→農地、都市濃縮、上流→下流、海域など)
- 人工システム内での放射性物質管理(排水、廃棄物処理処分、再生利用など)

まとめ

大気環境常時監視局の新たなデータによって、事故直後の大気中放射性物質濃度の時空間分布を検証できるようになれば、これまでの地表沈着量の空間分布による検証よりも、大気拡散沈着シミュレーションモデルの不確実性を小さくすることが可能。

今回の事故で放出された放射性物質の物理化学的性状についても新たな知見が得られつつある。

事故後3年余りの間に、多分野にわたる調査研究の成果が蓄積されてきたが、未公開データの中にも、動態評価や線量評価に有用なデータが存在している可能性があり、これらの収集、発掘、アーカイブ化が望まれる。

日本学術会議 声明 科学者の行動規範—改訂版— 抜粋

Ⅲ. 社会の中の科学 (社会との対話)

11 科学者は、社会と科学者コミュニティとのより良い相互理解のために、市民との対話と交流に積極的に参加する。また、社会の様々な課題の解決と福祉の実現を図るために、政策立案・決定者に対して政策形成に有効な科学的助言の提供に努める。その際、科学者の合意に基づく助言を目指し、意見の相違が存在するときはこれを解り易く説明する。

(科学的助言)

12 科学者は、公共の福祉に資することを目的として研究活動を行い、客観的で科学的な根拠に基づく公正な助言を行う。その際、科学者の発言が世論及び政策形成に対して与える影響の重大さと責任を自覚し、権威を濫用しない。また、科学的助言の質の確保に最大限努め、同時に科学的知見に係る不確実性及び見解の多様性について明確に説明する。

(政策立案・決定者に対する科学的助言)

13 科学者は、政策立案・決定者に対して科学的助言を行う際には、科学的知見が政策形成の過程において十分に尊重されるべきものであるが、政策決定の唯一の判断根拠ではないことを認識する。科学者コミュニティの助言とは異なる政策決定が為された場合、必要に応じて政策立案・決定者に社会への説明を要請する。